箭叶淫羊藿与近缘种天平山淫羊藿花粉形态对比研究

黄华，赖华清，蒋勇，李仁清，李风琴，刘勇，徐艳琴*

（江西中医药大学 药学院，南昌 330004）

摘要：箭叶淫羊藿与天平山淫羊藿亲缘关系密切，许多宏观形态特征，甚至关键分类性状存在过渡。为探讨两类群的分类学关系，采用扫描电子显微镜（SEM, scanning electron microscope）对箭叶淫羊藿 13 个居群（含箭叶淫羊藿光叶变种 1 个居群）、天平山淫羊藿 7 个居群进行花粉形态及外壁纹饰的观察及对比研究。结果表明：两个类群的花粉均为近球形，具三孔沟，大小相近。箭叶淫羊藿花粉大小为（18.21~21.66） μm ×（19.55~23.63） μm，天平山淫羊藿花粉大小为（18.32~21.43） μm ×（19.73~23.48） μm。外壁纹饰是花粉形态的重要性状。不同居群间花粉外壁纹饰存在较大差异，主要分为网纹纹饰、条网纹纹饰和颗粒状纹饰 3 大类，继而根据网脊类型和网眼密度分为 6 亚类。其中，箭叶淫羊藿的花粉形态包含了全部的 3 大类 6 亚类，天平山淫羊藿包含其中的 3 大类 4 亚类。天平山淫羊藿花粉特征为箭叶淫羊藿花粉形态变异的子集。整体而言，外壁纹饰类型呈现随纬度和海拔增加，由网状纹饰向条网状纹饰过渡的趋势。花粉主要形态性状特征均与海拔存在密切相关性。在花粉形态及外壁纹饰特征上，天平山淫羊藿在箭叶淫羊藿变异范围之内，与其他宏观形态性状变异一致。花粉形态性状无法将两类群有效区分，未能提供天平山淫羊藿作为独立种的有力支撑。暗示花粉形态证据在厘清近缘类群之间的系统发育关系意义相对有限，但能否对该属系统发育树大支的界定提供有力证据有待进一步研究。

关键词：居群，箭叶淫羊藿，天平山淫羊藿，花粉形态，形态变异

中图分类号：Q944　　　　　　　**文献标识码：**A

Comparative study on pollen morphology of *Epimedium sagittatum* and its sibling species, *E. myrianthum*

HUANG Hua, LAI Huaqing, JIANG Yong, LI Renqing, LI Fengqin，LIU Yong, XU Yanqin*

(*College of Pharmacy, Jiangxi University of Traditional Chinese Medicine*, Nanchang 330004, China)

Abstract: *Epimedium myrianthum* having much in common with *E. sagittatum*. There are transitions in many morphological characters and even in key taxonomy features. In order to explore the taxonomic relationship between the two taxa, the pollen morphology and ornamentation of exine of 13 populations of *E. sagittatum* (including 1 population of *E. sagittatum*

基金项目：国家自然科学基金（31360036）；江西省自然科学基金项目 (20181BAB205075)；江西省青年科学家（井冈之星）培养对象计划（20133BCB23024）；江西中医药大学中药学一流学科科研启动项目（JXSYLXK-ZHYAO023）[Supported by the National Natural Science Foundation of China (31360036); the National Science Foundation of Jiangxi Province (20181BAB205075) ; Yong Scientists Fellowship of Jiangxi Province (20133BCB23024); the Scientific Research Foundation for the First-class Discipline of Chinese Medicine Program of Jiangxi University of Traditional Chinese Medicine (JXSYLXK-ZHYAO023)]。

作者简介：黄华（1995-），女，江西南昌人，硕士研究生，研究方向为药用植物分类及资源开发，(E-mail) 17346712025@163.com

*通信作者：徐艳琴，博士，教授，博士生导师，研究方向为中药资源，(E-mail)yqxutcm@163.com。

var. *glabratum* T. S. Ying) and 7 populations of *E. myrianthum* were observed and compared by scanning electron microscope (SEM). The results showed that the pollen of both taxa was subspheroidal, with three-hole groove. Pollen size of *E. sagittatum* and *E. myrianthum* was (18.21-21.66) μm × (19.55-23.63) μm and (18.32-21.43) μm × (19.73-23.48) μm, respectively. The ornamentation of exine was an important character of pollen morphology. There were significant differences in ornamentation of exine among populations, which have been divided into three categories, namely reticulate, article reticulate and granular, and then divided into six subcategories according to the type of mesh ridge and mesh density. Among them, pollen morphology of *E. sagittatum* (including *E. sagittatum* var. *glabratum*) contained all three categories and six subcategories, and that of *E. myrianthum* contained three categories and four subcategories. This means that the pollen morphological variation pattern of *E. myrianthum* was a subset of *E. sagittatum*. On the whole, the variation pattern of the ornamentation of exine showed a trend, from reticulate to article reticulate, with the increase of latitude. And the main morphological characters of pollen were closely related to the elevation. As far as the pollen morphology concerned, the variation pattern of *E. myrianthum* was within the variation range of *E. sagittatum*, which was consistent with the variation patterns of other morphological characters. Pollen morphological characters could not distinguish the two taxa effectively, which failed to provide strong support for *E. myrianthum* as an independent species. It is suggested that the pollen morphological evidence is of relatively limited in clarifying the phylogenetic relationship among related taxa. However, further studies are still needed to provide strong evidence for the definition of large branches of phylogenetic trees of this genus.

Key words: population, *E. sagittatum*, *E. myrianthum*, pollen morphology, morphological variation

淫羊藿为小檗科（Berberidaceae）多年生草本植物，我国传统且特有的重要药用植物。具有补肾阳，强筋骨和祛风湿等功效（国家药典委员会，2015），且在改善心血管疾病、提高免疫力、防癌抗癌和抗抑郁等方面也具有突出功效（Zhao et al., 2018; Choi et al., 2019），为汇仁肾宝片、仙灵骨葆胶囊和中国劲酒等产品的重要原料药。此外，淫羊藿属植物因花形奇特，颜色多样而具有良好的观赏价值，在英国、美国、日本和比利时等地是十分受欢迎的园艺植物(Ward, 2004; 任璘等，2008；Avent, 2010; Probst, 2017)。

淫羊藿属（*Epimedium* L.）全世界约 68 种，我国共发表 58 种，经修订后为 46 种，约 85%的类群特有分布于中国（Xu et al., 2019; 徐艳琴等，2020)。中国是淫羊藿属的现代分布中心和多样性中心，也可能是该属的起源和分化中心，包括了从原始到进化的连续演化过程，且仍处于剧烈分化中（应俊生，2002；Stearn, 2002）。淫羊藿属是分类上十分特殊和复杂的属，超过一半的物种为国外研究者根据少量栽培个体发表，1990 至 1999 年间，新种数量迅速增加，共发表 26 种且全部来自中国。

由于短时间内物种数量的迅速增加，缺乏足够形态调查，加之种间杂交可育导致物种之间关系错综复杂，该属形成了大量复合种（species complex/species aggregate）(徐艳琴等，2014a)。其中，箭叶淫羊藿复合体（*E. sagittatum* species complex）为淫羊藿属最复杂的关注点之一，至少有 10 个类群与箭叶淫羊藿（*E. sagittatum*）关系密切（徐艳琴等，2014a)。徐艳琴等曾对箭叶淫羊藿复合体的分类问题进行初步梳理，将毡毛淫羊藿（*E. coactum*）、龙头虎毡毛淫羊藿（*E. coactum* var. *longtouhum*）、裂叶淫羊藿（*E. lobophyllum*）、多花淫羊藿（*E. multiflorum*）、靖州淫羊藿（*E. jingzhouense*）处理为天平山淫羊藿（*E. myrianthum*）异名，贵州淫羊藿（*E. sagittatum* var. *guizhouense*）和剑河淫羊藿（*E. myrianthum* var. *jianaheense*）

作为箭叶淫羊藿（*E. sagittatum*）异名，普定淫羊藿（*E. pudingense*）降为箭叶淫羊藿光叶变种（*E. sagittatum* var. *glabratum*），箭叶淫羊藿复合体的分类最终追溯到箭叶淫羊藿和天平山淫羊藿的关系。

箭叶淫羊藿分布于湖北、湖南、江西、安徽、浙江、广东、福建等省，是淫羊藿属分布范围较广的物种，也是形态变异最大，药用历史最悠久的物种，其分类学问题对淫羊藿属系统发育重建以及分类学研究具有重要意义（Stearn, 2002; 郭宝林和肖培根，2003；徐艳琴，2008；徐艳琴等，2013；徐艳琴等，2014b）。此外，箭叶淫羊藿在历版《中华人民共和国药典》(以下简称药典）均有收录（国家药典委员会，2015），而天平山淫羊藿为非药典种，明确二者之间的分类关系对物种的准确鉴定、药用资源利用、药材质量和药效保障具有重要意义。不同学者从植物形态、遗传多样性、叶背非腺毛性状、化学活性成分和化学型等不同角度对箭叶淫羊藿进行分类学研究，结果均显示，其种内居群和个体间均呈现丰富的变异（梁琼等，2013；徐艳琴等，2013；许瑛等，2015a；许瑛等，2015b）。

从宏观形态性状上来看，两类群花茎叶片数量、幼叶颜色、外萼颜色、花瓣颜色、花瓣形态等性状变异范围出现重叠，且地理分布上存在同域分布（徐艳琴等，2014a）。最主要的区别在于花序轴类型，是狭而直圆锥花序（箭叶淫羊藿）还是铺散型圆锥花序（天平山淫羊藿），及由此导致小花数量和大小的差别（徐艳琴等，2014a）。因此，天平山淫羊藿究竟该作为独立种还是应并入箭叶淫羊藿，还需更多证据（徐艳琴等，2014b）。

高等植物的花粉具有稳定的几何形态，具有产量大、易保存、耐高温和极难氧化等性质（王开发和王宪曾，1983；唐艳等，2018；张梅等，2019）。花粉形态作为植物稳定遗传的性状之一，对物种划分，甚至是系统发育重建具有重要价值（张梅等，2019; Xiong et al., 2019; Xu et al., 2019）。从上世纪 90 年代开始，陆续有学者对淫羊藿属植物花粉形态进行研究（梁海锐和阎文玫，1991；余旭升和刘启宏，1991；何顺志和郭宝林，1997；郭宝林等，1998；王悦云等，2015）。王悦云等（2015）对淫羊藿属 31 个物种花粉形态研究表明，本属植物的花粉大小和形状，尤其是外壁纹饰（网纹纹饰，条网纹纹饰和条纹状纹饰），可作为植物分类和药材鉴定的重要依据。但不同学者对箭叶淫羊藿花粉形态描述差异较大。余旭升和刘启宏（1991）描述的箭叶淫羊藿花粉粒径较大，为（29.7~32.6） μm × （32.4~37.5） μm，外壁具网状雕纹。梁海锐和阎文玫(1991)描述箭叶淫羊藿花粉大小(25~30) μm ×（28.7~31.9) μm，外壁纹饰为条网状纹饰，网眼不规则。郭宝林（1998）和何顺志（1997）描述箭叶淫羊藿花粉大小为 20.5 μm × （22.1~25.2） μm，外壁网状纹饰。三个产地间的箭叶淫羊藿花粉形态差异较大，花粉形态为长球形到近球形变化，外壁纹饰存在网脊形态和网眼密度的差异。王悦云（2015）等描述箭叶淫羊藿花粉大小（18.2-21.8） μm × （39.1~42.7） μm，外壁纹饰为网纹纹饰，网眼类圆形。

前期研究往往将少量样本代表一个物种，忽略了“居群”概念，无法获知种内居群间和个体间的差异。取样局限性导致对种间和种内变异范围和变异样式缺乏全面整体的把握，对性状的分类学价值难以正确判断，对“专属性”判断易存在偏差（徐艳琴等，2013；徐艳琴等，2014b；Xu et al., 2019），且导致不同学者研究结果很不一致。王悦云等（2015）在研究淫羊藿属花粉形态后明确指出，箭叶淫羊藿的花粉特征有待更多居群的研究。此外，以往研究样本均来自于腊叶标本的干花粉，可能存在花粉发育程度不一致和同域分布物种间传粉导致交叉污染的风险。

“居群”概念在分类学上至关重要，要正确认识物种性状的变异和分类价值，须充分重视（葛颂和洪德元，1995；刘少雄等，2016；Liu et al., 2017; Xu et al., 2019）。本研究以“居群”为单位，对箭叶淫羊藿及其近缘种天平山淫羊藿展开系统的花粉形态研究，从花粉形态学角度为其分类关系提供参考。

1 材料与方法

1.1 试剂

乙醇（天津市大茂化学试剂厂，天津），乙酸（天津市大茂化学试剂厂，天津、西陇科学股份有限公司，广东），甲醇（天津市大茂化学试剂厂，天津、西陇科学股份有限公司，广东），丙三醇（西陇科学股份有限公司，广东）为分析纯。

1.2 分析材料

研究材料于花期严格按照居群采样，每个居群采集 19~30 株个体。实验材料经江西中医药大学徐艳琴教授鉴定，并于江西中医药大学进行同质园栽培。共采集 20 个居群，其中，箭叶淫羊藿 13 个居群（含箭叶淫羊藿光叶变种 1 个居群），天平山淫羊藿 7 个居群。居群覆盖物种主要分布区，包括湖南、湖北、贵州、江西、安徽、广东和广西等 7 省。居群采集位置、代号、经纬度和海拔高度等信息见表 1。花粉观测于 2019 年花期（3 月—4 月）取自同质园栽培植株。每个居群随机选取 5~6 株个体，采集 10~20 朵雄蕊成熟的花，浸泡于 FAA 溶液（38%甲醛 5 mL，冰醋酸 5 mL，70%酒精 90 mL），避光保存，备用。

1.3 仪器与方法

取少量花粉使用 50~90%浓度的乙醇梯度洗脱，干燥后用牙签挑取少量花粉，均匀粘在样品台的导电胶纸上，置于 FEI 型 Quanta 250 场发射环境扫描电子显微镜（SEM）下进行观察，工作电压为 5 kV。在不同倍数下选取清晰且具有代表性的视野进行观测，于 800 倍视野下观察花粉整体效果并随机选取 20 粒花粉测量其极轴长（Polar axis）和赤道轴长（Equator axis），10 000 倍视野下观察花粉的极面和赤道面，24 000 倍视野下观察花粉外壁纹饰特征，并测量网眼直径（Mesh diameter）和网脊宽度（Mesh ridge width）。不同视野均拍照保存。

表 1 箭叶淫羊藿和天平山淫羊藿样本来源及居群信息

Table 1 Location and habitat characters of wild populations of *Epimedium sagittatum* and *E. myrianthum*

物种名 Chinses Name	代号 Code	采样地点 Location	东经 Longitude (E)	北纬 Latitude (N)	海拔 Elevation (m)
箭叶淫羊藿 *E. sagittatum*	AHHS	安徽汤口 Tangkou, Anhui	118°10′	30°06′	727
	GDRY	广东乳源 Ruyuan, Guangdong	113°08′	24°59′	290
	HBHF	湖北鹤峰 Hefeng, Hubei	109°50′	29°47′	1 236
	HBLT	湖北罗田 Luotian, Hubei	115°18′	30°54′	93
	HNJH	湖南江华 Jianghua, Hunan	111°33′	25°07′	235
	HNLY	湖南马家湾 Majiawan, Hunan	113°26′	28°06′	163
	HNJS	湖南保靖 Baojin, Hunan	109°40′	28°25′	385
	HNJY	湖南江永 Jiangyong, Hunan	111°27′	25°20′	247
	HNZJ	湖南芷江 Zhijiang, Hunan	109°28′	27°30′	360
	JXNF	江西南丰	116°20′	27°03′	133

		Nanfeng, Jiangxi			
	JXWN	江西宋溪 Songxi, Jiangxi	115°02′	29°20′	101
	JXWY	江西婺源 Wuyuan, Jiangxi	117°46′	29°28′	800
箭叶淫羊藿光叶变种 *E. sagittatum* var. *glabratum*	JXSL	江西上栗 Shangli, Jiangxi	113°51′	27°50′	322
天平山淫羊藿 *E. myrianthum*	HBTP	湖北鹤峰 Hefeng, Hubei	109°50′	29°47′	1 220
	HNSZ	湖南桑植 Sangzhi, Hunan	110°04′	29°46′	1 230
	GXLZ	广西柳江 Liujiang, Guangxi	109°25′	24°09′	152
	GZKY	贵州开阳 Kaiyang, Guizhou	107°06′	26°59′	797
	GZLC	贵州龙场 Longchang, Guizhou	107°57′	26°39′	796
	GZSS	贵州三穗 Sansui, Guizhou	108°41′	26°58′	756
	GZZY	贵州镇远 Zhenyuan, Guizhou	108°23′	27°04′	546

1.4 数据分析

计算极轴长与赤道轴长的比值（P/E, Polar axis/equator axis），网眼直径与网脊宽度比值（D/W, Diameter / width）。数据采用 SPSS21.0 软件进行单因素方差分析，统计各居群花粉形态性状的平均值及标准差，将三种花粉外壁纹饰（网纹纹饰、条网纹纹饰、颗粒状纹饰）分别赋值为 1，2，3，对花粉外壁纹饰和主要地理生态因子（经度、纬度与海拔）进行相关性分析。运用 MVSP3.0 软件对花粉外壁类型及形态量化性状进行数据标准化并进行聚类分析。运用 DPS9.01 软件进行生态因子与花粉粒形态特征之间的灰色关联度分析，花粉形态特征作为母因素，生态因子作为子因素。图片采用 Photoshop 图像处理软件进行编辑。为保证研究的系统性和可比性，本研究花粉形态特征的描述术语及类型划分参考梁海锐和阎文玫（1991）、郭宝林等（1998）和王悦云等（2015）对淫羊藿属植物花粉形态的研究。

2 结果与分析

2.1 箭叶淫羊藿与天平山淫羊藿花粉形态比较

2.1.1 花粉大小

箭叶淫羊藿和天平山淫羊藿花粉均为单粒，近球形，具三裂孔沟。两种淫羊藿花粉大小差异不大，箭叶淫羊藿花粉粒大小约为（18.21~21.66） μm ×（19.55~23.63） μm， P/E 为 1.06~1.08，天平山淫羊藿花粉粒大小约为（18.32~21.43） μm ×（19.73~23.48） μm，P/E 为 1.07~1.09。

2.1.2 花粉外壁纹饰

根据花粉外壁纹饰可分为 3 大类：网状纹饰（Ⅰ）、条网状纹饰（Ⅱ）和颗粒状突起纹饰（III）。

第Ⅰ类为网纹纹饰，根据网脊和网眼密度，该类型进而分为三个亚类。

Ⅰ-1 类，网纹纹饰，网脊平滑，无网眼或具稀疏网眼。此类型包括箭叶淫羊藿 JXNF、和 HNJY 居群，天平山淫羊藿 GXLZ、GZSS 和 GZLC 居群。

Ⅰ-2 类，网纹纹饰，网脊具瘤状突起，具网眼。此类型包括箭叶淫羊藿 HNJS 居群和天平山淫羊藿 HNSZ 居群。

Ⅰ-3 类，网纹纹饰，网脊平滑，网眼多。此类型包括箭叶淫羊藿 HNJH、HNLY 和 GDRY 居群。其中 GDRY 和 HNLY 两个居群花粉外壁纹饰均出现局部不规则条网状纹饰。

第Ⅱ类为条网纹纹饰，该类型根据纹饰方向和网眼密度进而分为两个亚类。

Ⅱ-1 类，方向不规则条网纹纹饰，网脊平滑，网眼较少或无，包括箭叶淫羊藿 AHHS 和 HNZJ 居群，箭叶淫羊藿光叶变种 JXSL 居群，天平山淫羊藿 GZZY 和 GZKY 居群。

Ⅱ-2 类，方向规则条网状纹饰，网脊平滑，网眼较多。包括箭叶淫羊藿 HBLT、JXWN 和 JXWY 居群。其中 JXWN 居群 1/3 的花粉外壁纹饰为条网纹纹饰，2/3 的花粉其外壁纹饰以条网纹纹饰为主，局部呈现网状纹饰。JXWY 居群花粉外壁纹饰为条网状纹饰，局部呈现网状纹饰。

第Ⅲ类为颗粒状纹饰。花粉外壁具颗粒状突起纹饰，无网眼。包括箭叶淫羊藿 HBHF 居群和天平山淫羊藿 HBTP 居群。

从以上结果可知，箭叶淫羊藿和天平山淫羊藿两类群的花粉形态均存在较丰富的变异，均包含了 3 类外壁纹饰。但箭叶淫羊藿出现了所有 6 亚类类型，天平山淫羊藿则包含其中 4 亚类。因此，天平山淫羊藿的花粉形态性状为箭叶淫羊藿花粉形态变异的子集。

表 2 箭叶淫羊藿和天平山淫羊藿不同居群花粉形态特征

Table 2 Pollen morphology of different populations of *Epimedium sagittatum* and *E. myrianthum*

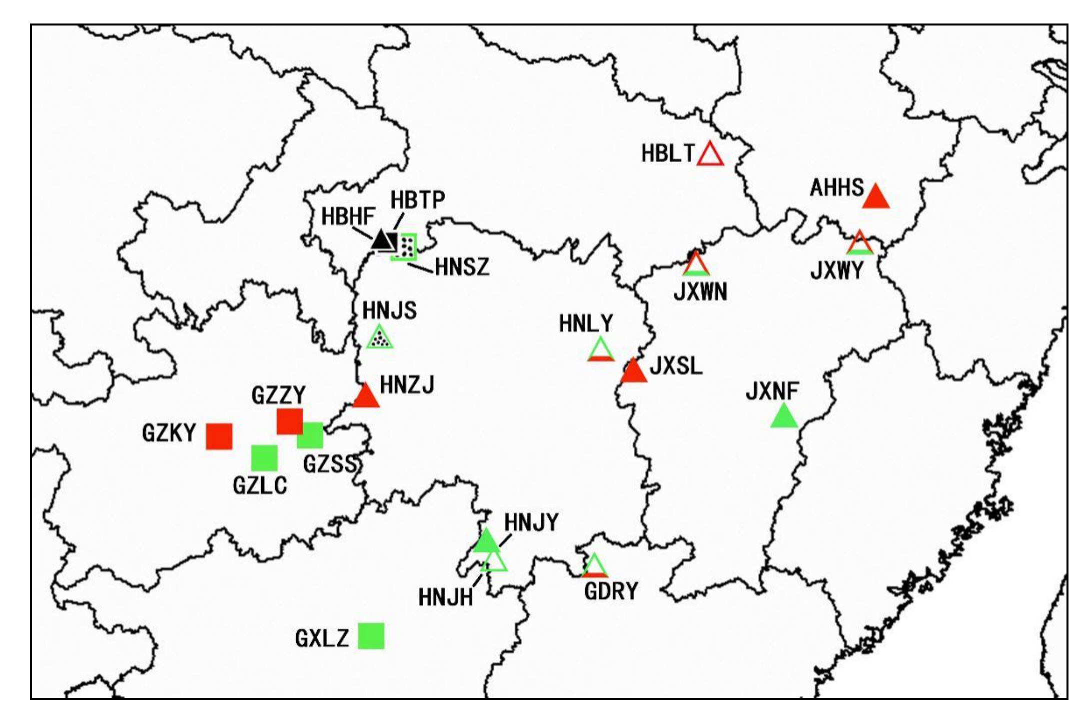
居群 Population	极轴长 Polar axis (P) (μm)	赤道轴长 Equator axis (E) (μm)	极轴长/赤道轴长 P/E	网眼直径 Mesh diameter (D) (μm)	网脊宽度 Mesh ridge width (W) (μm)	网眼直径/网脊宽度 D/W	形状 Shape	外壁纹饰 Ornamentation of exine	类型 Type
JXNF	20.27±0.96	18.91±0.86	1.07±0.07	0.27±0.07	0.34±0.07	0.84±0.34	近球形 Subspheroidal	网纹，网脊平滑，无网眼 Reticulate, smooth ridge without mesh	I-1
HNJY	22.69±1.73	21.07±1.23	1.08±0.07	0.21±0.04	0.32±0.04	0.66±0.15	近球形 Subspheroidal	网纹，无网眼 Reticulate and without mesh	I-1
HNJS	21.35±0.80	20.27±0.58	1.05±0.04	0.23±0.06	0.28±0.09	0.96±0.49	近球形 Subspheroidal	网纹，网脊具瘤状突起，具网眼 Apophysis ridge, reticulate with mesh	I-2
HNJH	23.38±0.98	21.96±1.13	1.07±0.05	0.25±0.06	0.34±0.07	0.73±0.20	近球形 Subspheroidal	网纹，网脊平滑，近赤道具圆形网眼 Reticulate, smooth ridge with round mesh near equator	I-3
HNLY	21.1±0.79	20.31±0.74	1.04±0.04	0.26±0.07	0.33±0.04	0.79±0.23	近球形 Subspheroidal	网纹，局部条网纹，网眼大 reticulate, Partial article reticulate with large mesh	I-3
GDRY	21.53±1.45	19.39±1.24	1.06±0.26	0.19±0.05	0.28±0.05	0.69±0.21	近球形 Subspheroidal	网纹，网脊平滑，不规则网眼 Smooth mesh, reticulate with irregular mesh	I-3
AHHS	22.08±1.19	21.08±0.88	1.05±0.03	0.27±0.06	0.32±0.07	0.85±0.23	近球形 Subspheroidal	条网纹，网脊突起，网眼无，或偶见少量 Apophysis ridge, article reticulate with minority mesh	II-1
HNZJ	23.05±1.52	21.09±1.22	1.09±0.08	0.30±0.09	0.26±0.06	1.25±0.52	近球形	条网纹，无或近赤道少数网眼	II-1

							Subspheroidal	Article reticulate with minority mesh near equator	
JXSL	22.48±1.19	20.83±0.93	1.08±0.06	0.22±0.06	0.34±0.09	0.67±0.20	近球形 Subspheroida	条网状，网脊平滑，近赤道具稀疏网眼 Article reticulate with minority mesh near equator	II-1
HBLT	20.06±1.08	18.74±1.12	1.07±0.03	0.20±0.04	0.32±0.08	0.64±0.22	近球形 Subspheroidal	条网状，网脊平滑，具网眼 Smooth ridge, article reticulate with mesh	II-2
JXWN	20.56±1.16	19.31±1.32	1.07±0.05	0.22±0.07	0.30±0.06	0.78±0.32	近球形 Subspheroidal	条网状或网状，具网眼 Article reticulate or reticulate with mesh	II-2
JXWY	22.58±0.98	20.83±0.99	1.09±0.05	0.23±0.06	0.30±0.06	0.81±0.25	近球形 Subspheroidal	条网状或网纹，具网眼 Article reticulate with mesh	II-2
HBHF	21.71±1.22	20.29±1.10	1.07±0.06	0.25±0.05	0.27±0.05	0.94±0.22	近球形 Subspheroidal	颗粒状突起，近赤道具网眼 Granular with mesh near equator	III
GXLZ	22.82±1.11	20.23±0.50	1.13±0.06	0.24±0.04	0.31±0.05	0.78±0.16	近球形 Subspheroidal	网状，网眼少 Reticulate with minority mesh	I-1
GZSS	20.00±0.57	18.65±0.71	1.07±0.05	0.25±0.06	0.34±0.06	0.76±0.17	近球形 Subspheroidal	网状，网眼少，部分无网眼 Reticulate with minority mesh	I-1
GZLC	21.21±0.88	19.52±0.95	1.09±0.05	0.25±0.07	0.31±0.04	0.81±0.24	近球形 Subspheroidal	网纹，网眼少或无 Reticulate and minority mesh	I-1
HNSZ	21.27±0.58	19.85±1.18	1.07±0.06	0.25±0.08	0.37±0.13	0.75±0.34	近球形 Subspheroidal	网状，网脊具瘤状突起，具网眼 Apophysis ridge， reticulate with mesh	I-2
GZZY	21.60±1.06	20.18±1.55	1.07±0.07	0.24±0.05	0.30±0.05	0.82±0.25	近球形 Subspheroidal	不规则条网状，网眼少 Irregularly article reticulate with minority mesh	II-1
GZKY	22.95±1.14	20.89±1.15	1.10±0.06	0.26±0.07	0.31±0.06	0.87±0.31	近球形 Subspheroidal	不规则条网纹，网眼少或无 Irregularly article reticulate and minority	II-1

								mesh	
HBTP	21.46±0.76	20.67±0.85	1.04±0.04	0.21±0.04	0.27±0.03	0.82±0.15	近球形 Subspheroidal	颗粒状突起，近赤道少数小网眼 Granular with minority small mesh near equator	III

注：0.88＜极轴长/赤道轴长（P/E）＜1.14 为近球体。

Note: 0.88＜Polar axis/equator axis＜1.14 is subspheroidal.



三角形：箭叶淫羊藿（含光叶变种），正方形：天平山淫羊藿。绿色：网状纹饰；红色：条网状纹饰；黑色：颗粒状纹饰；红色为主加绿色（JXWN、JXWY）：主要为条网纹纹饰，局部出现网纹纹饰；绿色为主加红色（GDRY、HNLY）：主要为网纹纹饰，局部出现条网纹纹饰。实心：网眼少或无；空心：网眼较多。

Triangle: *Epimedium sagittatum* and *E. sagittatum* var. *glabratum*; square: *E. myrianthum*. green: Reticulate exine; red: Article reticulate exine; black: Granular exine; red plus green (JXWN, JXWY): Mainly article reticulate exine, with reticulate exine; green plus red (GDRY, HNLY): Mainly reticulate exine, with article reticulate exine. solid: Few or no pollen mesh; hollow: With many pollen meshes.

图 1 箭叶淫羊藿和天平山淫羊藿各类群的分布信息及花粉外壁纹饰特征

Fig. 1 Geographical distribution and characters ornamentation of exine of *Epimedium sagittatum* and *E. myrianthum*

2.2 箭叶淫羊藿不同居群的花粉形态（图 2，图 3，图 4）

2.2.1 网纹纹饰（Ⅰ类）

2.2.1.1 网纹纹饰－网脊平滑，网眼无或稀疏（Ⅰ-1 类）

JXNF 花粉粒大小（18.51~19.32） μm ×（19.82~20.72） μm，近球形或近扁球形，两极平坦，极面观呈三裂，近三角圆形，赤道面呈近圆形。沟膜具稀疏颗粒状突起，突起顶端圆钝，沟较宽。花粉外壁凹凸不平，网纹纹饰，网脊凸起且光滑，无网眼，近两极与沟边处网纹模糊。

HNJY 花粉粒大小（20.50~21.64） μm ×（21.88~23.50） μm，近球形，两极平坦，极面观三裂，圆形，赤道面呈近圆形。沟膜具瘤状突起，分布均匀。花粉外壁凹凸不平，网纹纹饰，网纹较模糊，无网眼，网脊表面无突起。

2.2.1.2 网纹纹饰－网脊具瘤状突起，网眼较多（Ⅰ-2 类）

HNJS 花粉粒大小（20.00~20.54） μm ×（20.97~21.72） μm，近球形，极面观圆形，具三沟，中间较宽。沟膜褶皱，具颗粒状突起。外壁具清晰网状纹饰，网脊上表面不平，具瘤状突起，网眼密集，类圆形，分布均匀，近两极网眼变小，网脊宽度与网眼直径相近。

2.2.1.3 网纹纹饰－网脊平滑，网眼较多（Ⅰ-3 类）

HNJH 花粉粒大小（21.69~22.64） μm ×（23.09~24.07） μm，近球形，极面观三裂圆形，极面观较大，赤道面呈椭圆形。沟较宽，沟膜具颗粒状突起，分布均匀，颗粒顶端圆

钝。花粉外壁网状纹饰，近赤道轴具大小不一的网眼。但靠近两极和沟边无网眼，外壁部分区域也出现模糊无网眼的纹饰。

HNLY 花粉粒大小（19.97~20.66） μm ×（20.73~21.47） μm，近球形，极面观三裂圆形，赤道面两极平坦。沟膜具颗粒状突起，顶端圆钝，分布均匀。花粉外壁网状纹饰局部呈条网状纹饰，网纹清晰，近赤道轴网眼较大，不规则均匀分布，偶可通过网眼看见柱状层。近两极与两沟边处网眼较小。

GDRY 花粉粒大小（18.79~19.98） μm ×（20.83~22.23） μm，近球形，极面观三裂圆形，沟膜具较大颗粒状突起。花粉外壁网状纹饰局部呈不规则条网状纹饰，具大小不一形状不规则的网眼。

需特别说明的是，GDRY 和 HNLY 两个居群出现了花粉纹饰的变异，主要为网状纹饰但局部呈现不规则条网状纹饰。根据外壁纹饰整体情况，将其仍划分到网纹纹饰类型下。

2.2.2 条网纹纹饰（Ⅱ类）

2.2.2.1 条网纹纹饰－网眼少或无，不规则条网纹（Ⅱ-1 类）

AHHS 花粉粒大小（20.67~21.49） μm ×（21.53~22.64） μm，近球形，极面观三裂圆形，赤道面椭圆形。沟膜密布均匀颗粒状突起，顶端圆钝。花粉外壁条网状纹饰，网纹方向不规则，网纹清晰，方向不规则，条状网脊突起，两极与两沟边条网状纹饰模糊，外壁偶见极少数不均匀小网眼。

HNZJ 花粉粒大小（20.52~21.66） μm ×（22.33~23.76） μm，极面观三裂圆形，沟膜具密集瘤状突起。花粉外壁为条网状纹饰，网纹方向不规则，无网眼或近赤道轴处具极稀疏网眼。

JXSL 花粉粒大小（20.39~21.26） μm ×（21.92~23.04） μm，近球形，极面观三裂圆形，赤道面两极渐窄。沟较窄，沟膜具颗粒状突起，顶端圆钝，分布均匀。花粉外壁条网状纹饰，网纹清晰，网脊平滑，赤道轴稀疏网眼，分布不均匀，近两极与两沟边无网眼。

2.2.2.2 条网纹纹饰－网眼多（Ⅱ-2 类）

HBLT 花粉粒大小（18.22~19.27） μm ×（19.55~20.56） μm，近球形或长球形，极面观圆形，赤道面两端渐窄，中间较宽。沟膜颗粒密集，分布均匀，颗粒顶端圆钝。外壁纹饰条网状纹饰，网纹沿极轴方向延伸，网脊平滑密集。网眼较小，不规则，网脊宽度大于网眼直径，近赤道轴网眼多，近沟与两极部位外壁网眼变小、变少。

JXWN 花粉粒大小（18.69~19.93） μm ×（20.01~21.10） μm，近球形，极面观三裂圆形，两极平坦。沟较窄，沟膜具颗粒状突起，顶端圆钝。花粉外壁条网状纹饰或网状纹饰，网纹清晰，方向不规则，网眼密集，分布均匀，近两极或沟边网眼变小。部分花粉粒近赤道轴无网眼，在近两沟具稀疏网眼。

JXWY 花粉粒大小（20.51~21.14） μm ×（22.27~22.90） μm，近球形，极面观三裂圆形，两极平坦。沟较窄，沟膜具颗粒状突起，顶端圆钝。花粉外壁条网状纹饰，局部网状纹饰，网纹清晰，近赤道轴具大小不一、形状不规则网眼，近两极或沟边无网眼。

需特别说明的是，JXWN 和 JXWY 两个居群出现了花粉纹饰的变异，JXWN 居群 1/3 的花粉外壁纹饰为条网纹纹饰，2/3 的花粉其外壁纹饰以条网纹纹饰为主，局部呈现网状纹饰。JXWY 居群花粉外壁纹饰为条网状纹饰，局部呈现网状纹饰。

2.2.3 颗粒状突起（Ⅲ类）

HBHF 花粉粒大小（19.77~20.81） μm ×（21.14~22.28） μm，近球形，极面观三裂圆形，赤道面呈近圆形。沟膜具不规则颗粒状突起。花粉外壁凹凸不平，密布瘤状小突起，两极具极稀疏网眼，部分近赤道轴具极少数几个网眼，网眼极小，网脊光滑。

2.3 天平山淫羊藿花粉形态（图 4，图 5）

2.3.1 网纹纹饰（Ⅰ类）

2.3.1.1 网纹纹饰－网眼少或无（Ⅰ-1 类）

GXLZ 花粉粒大小（19.99~20.46） μm ×（22.30~23.34） μm，近球形，极面观三裂圆形，赤道面两极渐窄。沟较窄，近两极渐尖或极尖，沟膜具密集不规则颗粒状突起，顶端圆钝，分布均匀。花粉外壁网状纹饰，网纹清晰，具极稀疏小网眼。

GZSS 花粉粒大小（18.32~18.98） μm ×（19.73~20.27） μm，近球形，极面观三裂圆形，赤道面两极渐窄。沟较窄，近两极渐尖或极尖，沟膜具密集不规则颗粒状突起。花粉外壁网状纹饰，局部具稀疏大小不一形态不规则的网眼。部分花粉粒外壁网纹模糊，无网眼。

GZLC 花粉粒大小（19.08~19.97） μm ×（20.80~21.63） μm，近球形，极面观三裂圆形。沟较宽，沟膜具颗粒状突起。花粉外壁网状纹饰，部分花粉粒网纹模糊。无网眼或近赤道轴具稀疏不规则网眼。

2.3.1.2 网纹纹饰－网眼较多，网脊具瘤状突起（Ⅰ-2 类）

HNSZ 花粉粒大小（19.10~20.60） μm ×（20.90~21.64） μm，近球形，极面观三裂圆形。沟膜具颗粒状突起。花粉外壁网状纹饰，网纹清晰，网脊上具密集瘤状突起，赤道轴具大小不一、近圆形的网眼。

2.3.2 条网纹纹饰（Ⅱ类）

2.3.2.1 条网纹纹饰－网眼少或无（Ⅱ-1 类）

GZZY 花粉粒大小（19.46~20.90） μm ×（21.10~22.09） μm，近球形，极面观三裂圆形，赤道面近两极渐窄。沟膜具颗粒状突起。花粉外壁方向不规则条网状纹饰，网纹清晰，近赤道轴具极稀疏不均匀小网眼。

GZKY 花粉粒大小（20.35~21.43） μm ×（22.41~23.48） μm，近球形，极面观三裂圆形，赤道面两极渐窄。沟较窄，近两极渐尖或极尖，沟膜具密集不规则颗粒状突起。花粉外壁具不规则条网状纹饰，近两极与沟边网纹模糊，偶见具极稀疏小网眼。

2.3.3 颗粒状突起（Ⅲ类）

HBTP 花粉粒大小（20.27~21.06） μm ×（21.10~21.81） μm，近球形，极面观三裂圆形。沟较窄，近两极渐尖，沟膜具密集不规则颗粒状突起。花粉外壁具密集颗粒状突起，赤道轴具极稀疏不均匀小网眼。

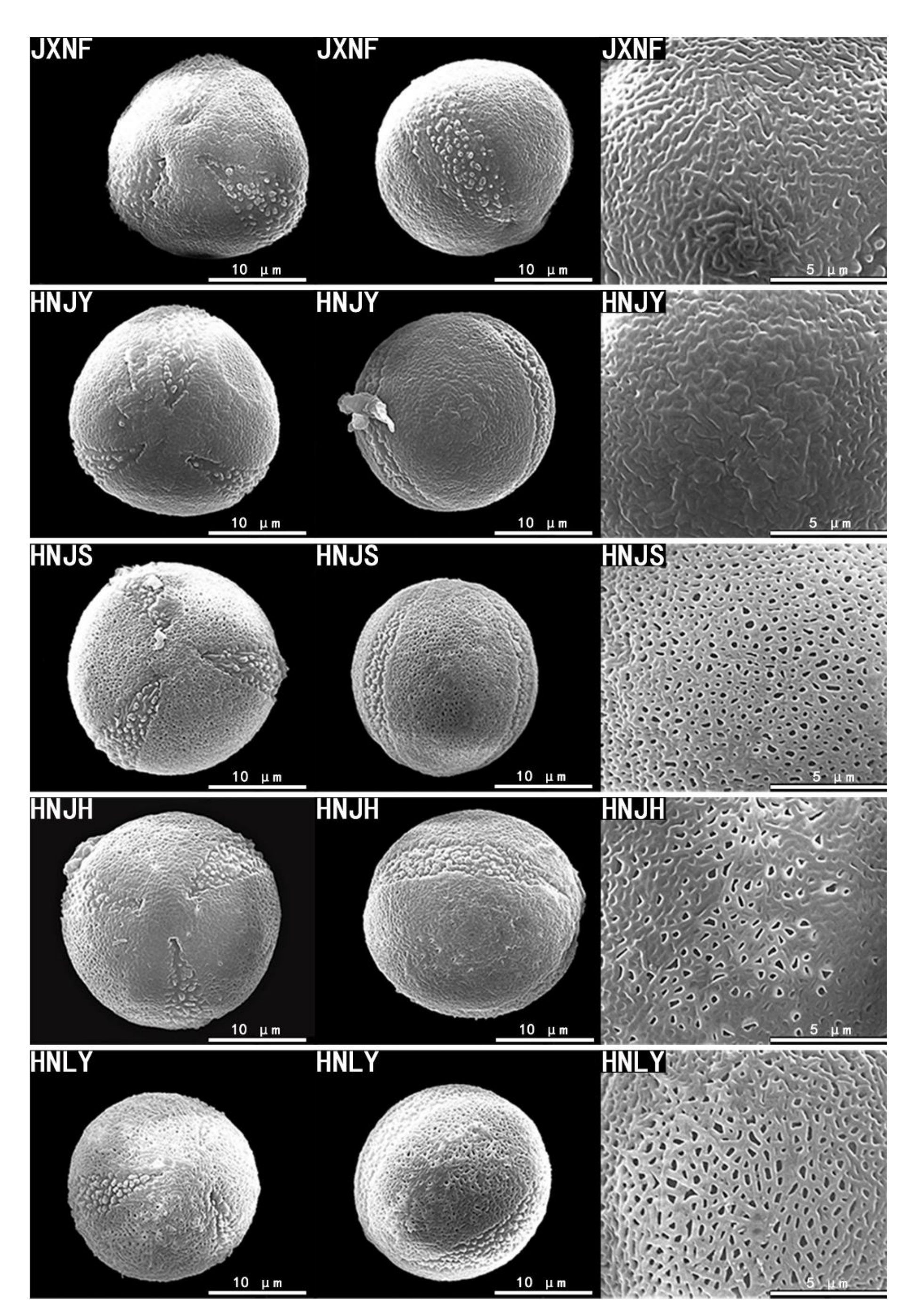


图 2 箭叶淫羊藿花粉形态

Fig. 2 SEM micrographs of pollen grains of *Epimedium sagittatum*

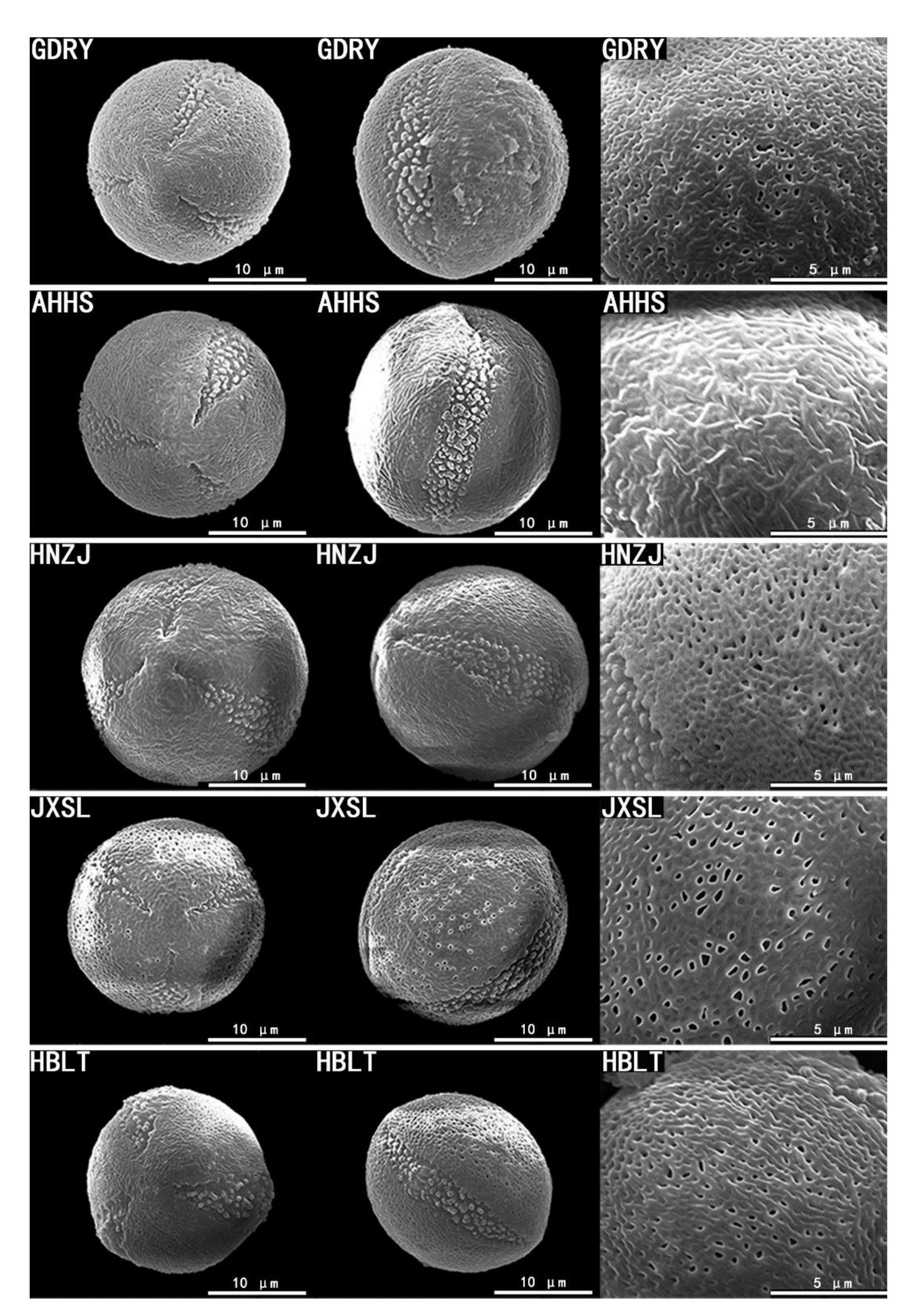
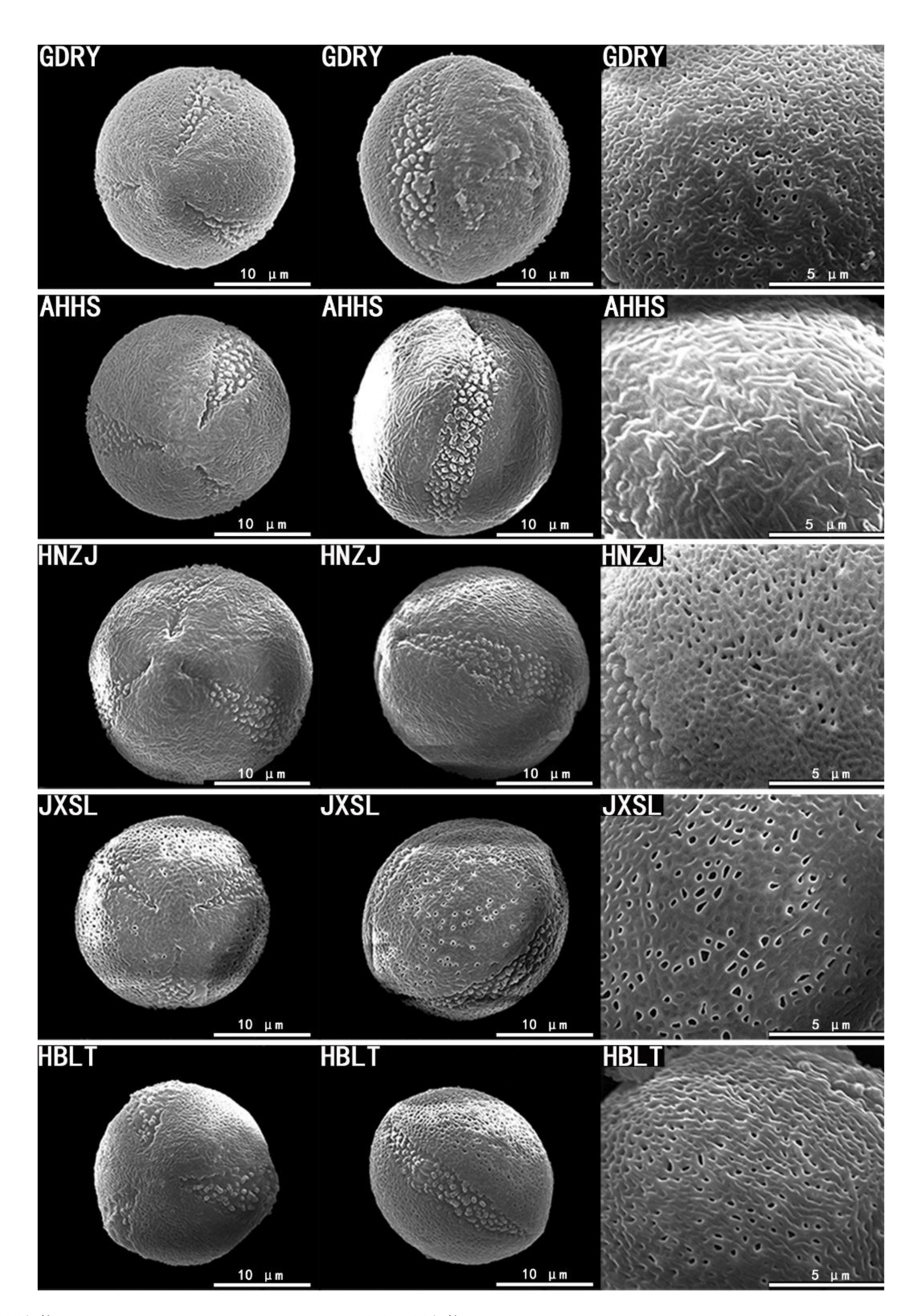


图 3 箭叶淫羊藿花粉形态

Fig. 3 SEM micrographs of pollen grains of *Epimedium sagittatum*



箭叶淫羊藿：JXWN，JXWY，HBHF；天平山淫羊藿：GZLZ，GZSS。

Epimedium sagittatum: JXWN, JXWY, HBHF; *E. myrianthum*: GZLZ, GZSS.

图 4 箭叶淫羊藿与天平山淫羊藿花粉形态

Fig. 4 SEM micrographs of pollen grains of *Epimedium sagittatum* and *E. myrianthum*

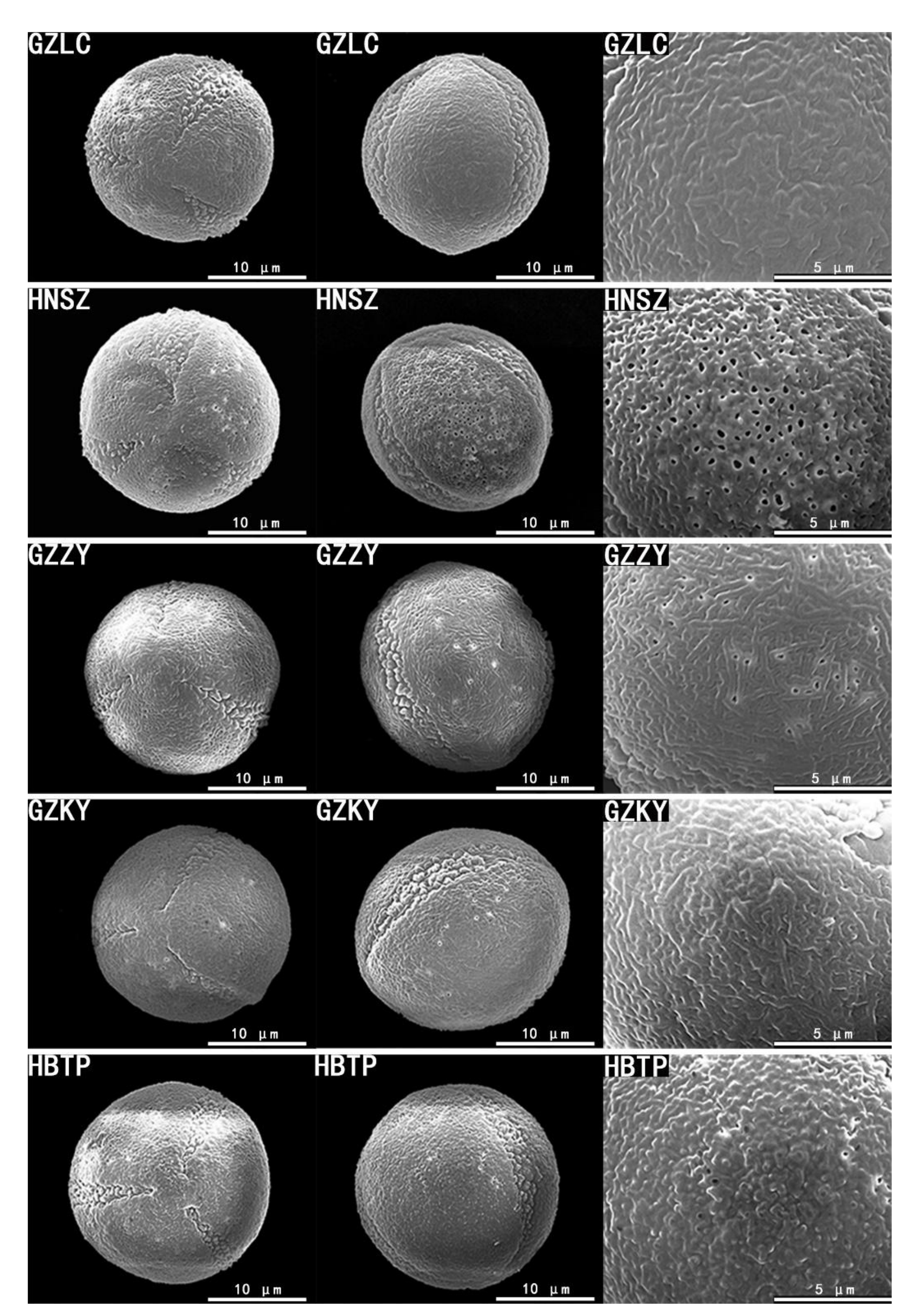


图 5 天平山淫羊藿花粉形态

Fig. 5 SEM micrographs of pollen grains of *Epimedium myrianthum*

2.4 花粉形态特征与生态因子相关性

2.4.1 花粉外壁纹饰与生态因子的相关性分析

从各居群的地理分布及其花粉外壁纹饰特征来看，两者呈现一定规律（图 1）。网状纹饰（Ⅰ型）主要分布于广东和广西两省的北部，贵州、江西和湖南三省南部，如 GZLZ、HNJY、HNJH、GZLC、GZSS 和 JXNF 居群。条网状纹饰（Ⅱ型）主要分布于贵州、湖南和江西三省的中部，安徽省南部及邻近的湖北省区域，如 GZKY、GZZY、HNZJ、JXSL、AHHS 和 HBLT 居群。颗粒状纹饰（Ⅲ型）的 HBHF 和 HBTP 两个居群分布于湖北西部。整体来看，花粉外壁纹饰呈现随纬度逐渐过渡的趋势。进而与海拔、经度及纬度的相关性分析结果显示，

纬度与花粉外壁纹饰类型显著相关（$P = 0.006$），随着纬度升高，花粉外壁纹饰从Ⅰ型（网状纹饰）过渡到Ⅱ型（条网状纹饰）型和Ⅲ型（颗粒状纹饰）。花粉外壁纹饰类型与海拔也呈现显著相关（$P = 0.046$），与经度不存在显著相关性（$P = 0.829$）。

2.4.2 花粉形态特征与生态因子的灰色关联度分析

对不同居群淫羊藿花粉形态特征性状与生态因子灰色关联度分析结果表明，不同生态因子对花粉形态性状的影响各不同（表 3）。其中，对赤道轴长、网孔直径、网眼直径/网脊宽度和花粉外壁纹饰影响程度均为海拔>北纬>东经；对极轴长和极轴长/赤道轴长影响程度为海拔>东经>北纬；对网脊宽度影响程度为东经>海拔>北纬。

总体上来看，淫羊藿花粉形态特征指标与生态因子之间的灰色关联系数（r_i）为 0.5896~0.7346，表明生态因子与淫羊藿花粉形态关系较为密切。其中海拔与极轴长、赤道轴长、极轴长/赤道轴长、网眼直径、网眼直径/网脊宽度和花粉纹饰类型的 r_i 均为最高，说明海拔是影响花粉主要形态性状的主导因子（$r_i = 0.665\ 0$~$0.734\ 6$）；东经是影响网脊宽度的主导因子（$r_i = 0.638\ 8$）。此外，值得关注的是，北纬也是影响花粉形态大小特征和花粉外壁纹饰的重要因子（$r_i = 0.589\ 6$~$0.712\ 0$）。

表 3 箭叶淫羊藿与天平山淫羊藿花粉形态特征与生态因子的灰色关联度

Table 3 Grey correlation degrees between main ecological factors and pollen morphology of *Epimedium sagittatum* and *E. myrianthum*

生态因子 Ecological factors	极轴长 Polar axis (P) (μm)	赤道轴长 Equator axis (E) (μm)	极轴长/赤道轴长 P/E	网眼直径 Mesh diameter (D) (μm)	网脊宽度 Mesh ridge width (W) (μm)	网眼直径/网脊宽度 D/W	外壁纹饰 Ornamentation of exine
海拔 Elevation (m)	0.665 0	0.672 1	0.725 0	0.685 6	0.624 1	0.734 6	0.705 4
北纬 Latitude (N)	0.589 6	0.647 2	0.661 8	0.633 0	0.591 2	0.712 0	0.646 6
东经 Longitude (E)	0.612 3	0.621 2	0.670 0	0.609 7	0.638 8	0.636 3	0.608 4

基于以上花粉形态特征与生态因子相关性分析结果，表明两者间存在密切相关性。就外壁纹饰及生态因子相关性而言，不同分析软件结果存在一定差异。SPSS21.0 分析结果显示纬度和海拔均与花粉外壁纹饰存在显著相关性，但纬度的相关性更强。而 DPS9.01 分析结果显示海拔和纬度均与花粉外壁纹饰关系密切，但海拔的关联度更高。整体而言，均说明海拔和纬度对花粉形态的影响较突出。

2.5 花粉形态聚类

聚类分析结果显示，在遗传距离 3.2 处，所有居群分为 5 组（图 6）。HNZJ 花粉粒较大，单独聚为一类。第二组包括箭叶淫羊藿 HBHF，天平山淫羊藿 HBTP，花粉外壁纹饰类型为颗粒状纹饰。第三组包括箭叶淫羊藿 4 个居群（HNJH、JXSL、HNJY、JXWY）和天平山淫羊藿 2 个居群（GXLZ、GZKY），包含了网状纹饰和条网状纹饰类型。第四组为箭叶淫羊藿 HBLT，花粉外壁纹饰为条网状纹饰。第五组包括箭叶淫羊藿 6 个居群（JXNF、GDRY、HNJS、JXWN、HNLY 和 AHHS），天平山淫羊藿 4 个居群（HNSZ、GZSS、GZLC 和 GZZY），花粉外壁纹饰包括网纹纹饰和条网纹纹饰类型。

基于花粉形态数据的聚类分析结果，表明箭叶淫羊藿与天平山淫羊藿在花粉形态特征上无明显区分和间断，两类群的居群在聚类分支中混杂。

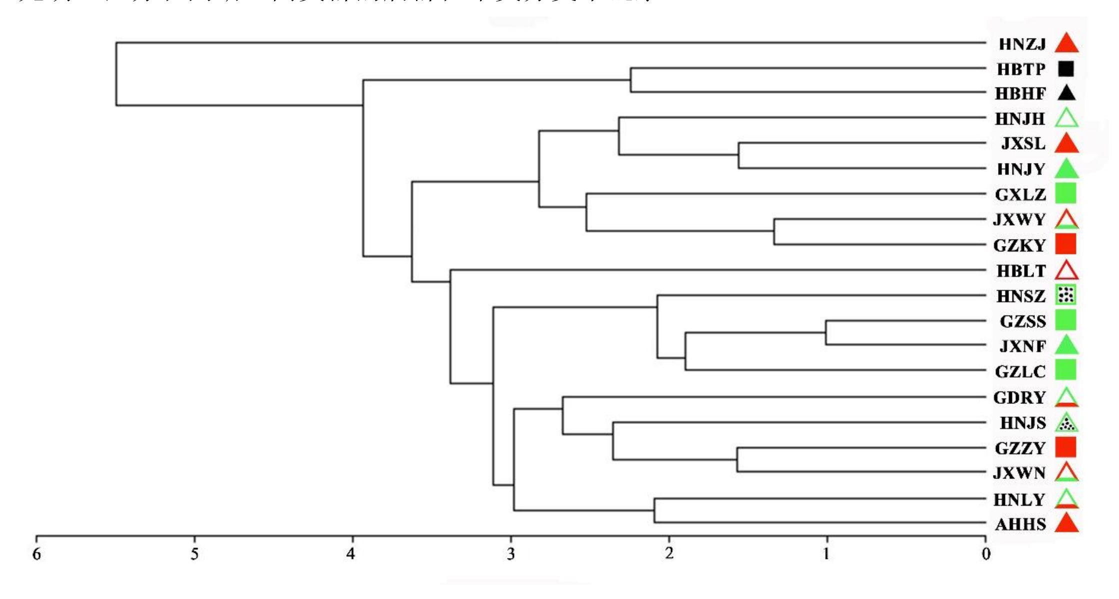


图 6 基于花粉形态的箭叶淫羊藿和天平山淫羊藿居群聚类图

Fig.6 Dendrogram using characters of pollen grains for *Epimedium sagittatum* and *E. myrianthum*

3 讨论与结论

3.1 箭叶淫羊藿花粉形态特征及分类启示

箭叶淫羊藿作为淫羊藿属植物中种内变异范围最大的物种，无论是在植物形态、遗传变异，还是化学型上都存在丰富的多样性，可能是多型种（徐艳琴，2008；梁琼等，2013；徐艳琴等，2013；许瑛等，2015a）。暗示对箭叶淫羊藿的研究，样本的选择需非常谨慎（徐艳琴等，2013）。样本要尽可能全面，因为在样本数量不足的情况下，一个连续的变异式样也会呈现间断的形式，种及种下类群的建立应以天然居群为基础，这是现代分类学的基本原则（汤彦承和向秋云，1989）。因为同一物种的居群间和甚至同一居群不同个体间都可能存在一定程度变异，以居群为基础的系统研究对全面掌握类群变异范围和变异式样，评估其分类价值具有重要意义（王悦云等，2015；刘少雄等，2016；Liu et al., 2017; Xu et al., 2019）。但以往淫羊藿属孢粉学研究往往忽略“居群”概念，以单一产地的少量代表整个物种，导致不同学者对同一物种花粉形态描述存在较大差异，且分类上易出现分类过细的弊端。

本研究对箭叶淫羊藿 12 个居群及其变种 1 居群的花粉形态进行系统研究，发现花粉性状与宏观形态变异相似，同样存在广泛变异，不同居群在其主要特征上存在较大差异。观察到网状纹饰、条网状纹饰和颗粒状纹饰 3 大类花粉外壁纹饰，进而根据网脊和网眼特征细分为 6 亚类。从花粉外壁纹饰性状来看，本研究涵盖了以往研究的所有变异，如梁海锐和阎文玫（1991）观察的条网状纹饰，余旭升和刘启宏（1991）报道的网状雕纹，何顺志和郭宝林（1997）、王悦云等（2015）描述的网状纹饰。此外，本研究还还观察到条网状纹饰和颗粒状纹饰。再次证明实箭叶淫羊藿研究取材全面的重要性和必要性。

王悦云等（2015）基于淫羊藿属 31 种植物花粉形态的研究，认为花粉外壁纹饰可用于植物分类的依据。该研究根据箭叶淫羊藿花粉外壁为网纹纹饰，而普定淫羊藿花粉外壁为条网纹纹饰，从而支持普定淫羊藿独立成种。但就本研究结果来看，箭叶淫羊藿多个居群花粉外壁纹饰都为条网状纹饰（如：AHHS、HNZJ、HBLT、JXWN 和 JXWY），证明该性状并非为普定淫羊藿特有的间断性状。因此，花粉特征并不能支持普定淫羊藿单独成种。徐艳琴等（2014b）曾根据宏观外部形态特征，将普定淫羊藿降为箭叶淫羊藿光叶变种。王悦云等

（2015）描述的普定淫羊藿与本研究中箭叶淫羊藿光叶变种 JXSL 居群的花粉外壁形态均为条网状纹饰，花粉形态更支持将普定淫羊藿降为箭叶淫羊藿光叶变种。

3.2 箭叶淫羊藿和天平山淫羊藿分类关系讨论

箭叶淫羊藿复合体的分类问题最终追溯到箭叶淫羊藿和天平山淫羊藿之间的关系上（徐艳琴等，2014b）。本课题组基于广泛的野外形态观测，发现两类群间多个关键性状重叠，如 Stearn（1998）描述天平山淫羊藿新种时指出，箭叶淫羊藿叶缘波状，幼时绿色，而天平山淫羊藿叶缘平展，幼时带有明显红色斑点。但实际两类群多数居群幼叶均带有数量和深浅不一红色斑点或斑块。除此之外，在花茎上叶的数量、外萼颜色、花瓣颜色和形状等形状上，两类群均存在过渡和交集（徐艳琴等，2014b）。与两类群最主要的区别在于花序类型，是狭而直的圆锥花序（箭叶淫羊藿）还是铺伞形圆锥花序（天平山淫羊藿），及由此导致小花数量和大小上的差异（徐艳琴等，2014b）。许瑛等人曾先后基于淫羊藿多苷成分淫对箭叶淫羊藿的 16 个居群和天平山淫羊藿的 8 个居群进行质量评价，发现两类群不同居群间均存在较大差异，且天平山淫羊藿 3 种化学型在箭叶淫羊藿化学型变异范围内（许瑛等，2015a；许瑛等，2015b；许瑛等，2016）。基于花粉形态数据及聚类分析结果显示（表 2，图 5），天平山淫羊藿与箭叶淫羊藿在花粉形态特征上无明显区分和间断，外壁纹饰的变异也均在箭叶淫羊藿变异范围之内。与其宏观形态性状变异趋势一致。因此，基于孢粉学证据，天平山淫羊藿与箭叶淫羊藿不存在明显间断，未能提供天平山淫羊藿单独成种的有力证据。但另一方面，目前尚不能因为天平山淫羊藿的花粉形态变异在箭叶淫羊藿变异范围内，就否定天平山淫羊藿的物种地位。因为，从淫羊藿属不同物种的花粉形态研究结果来看（梁海锐和阎文玫，1991；余旭升和刘启宏，1991；何顺志和郭宝林，1997；郭宝林等，1998；王悦云等，2015），本研究箭叶淫羊藿花粉外壁纹饰的变异涵盖了多数物种的变异。因此，孢粉学证据的分类学意义需对整属的花粉形态特征进系统研究，才能获得客观结论。

参考文献：

AVENT T, 2010. An overview of *Epimedium* [J]. Plantsman, 3: 10-17.

CHOI H, KIM J, LI Z, et al., 2019. Effectiveness of prenyl group on flavonoids from *Epimedium koreanum* Nakai on bacterial neuraminidase inhibition [J]. Molecules, 24(2): 317.

GE S, HONG DY, 1995. Biosystematic studies on *Adenophora potaninii* Korsh. Complex (campanulaceae) III. genetic variation and taxonomic value of morphological characters [J]. Acta Phytotaxon Sin, 33(5): 433-443. [葛颂，洪德元，1995. 泡沙参复合体（桔梗科）的物种生物学研究III.形状的遗传变异及其分类价值[J]. 植物分类学报，33(5)：433-443.]

GUO BL, XIAO PG, 2003. Comment on main species of herba *Epimedii* [J]. Chin J Chin Mat Med, 28(4): 303-339. [郭宝林，肖培根，2003. 中药淫羊藿主要品类评述[J]. 中国中药杂志，28(4)：303-307.]

GUO BL, XIAO PG, HE SZ, 1998. The pollen exine ornamentation of *Epimedium* and its taxonomic significance [J]. Acta Bot Yunnan, 20(2): 220-224. [郭宝林，肖培根，何顺志，1998. 花粉的外壁纹饰及分类学意义[J]. 云南植物研究，20(2)：220-224.]

HE SZ, GUO BL, 1997. Scanning electron microscopy of pollen morphology on *Epimedium* medicinal plant in Guizhou [J]. Chin J Chin Mat Med, 22(5): 268-270. [何顺志，郭宝林，1997. 贵州产淫羊藿属药用植物花粉形态的扫描电镜观察[J]. 中国中药杂志，22(5)：268-270.]

LI JJ, ZHANG MIN, ZHOU P, et al., 2017. Preparation of paraffin section of *Vaccinium bracteatum* stem segment tissue [J]. J NW For Univ, 32(2): 174-179. [李瑾瑾，张敏，周鹏，等，2017. 乌饭树茎段组织的石蜡切片制作技术研究[J]. 西北林学院学报，32(2)：174-179.]

LIANG HR, YAN WM, 1991. Study on the pollen morphology of *Epimedium* in China [J]. Bull Bot Res, 11(4): 81-92. [梁海锐，阎文玫，1991. 国产淫羊藿属花粉形态研究[J]. 植物研究，

11(4)：81-92.]

LIANG Q, ZHANG YJ, XU YQ, et al., 2013. Morphological variations and genetic diversity of *Epimedium sagittatum* populations [J]. Plant Sci J, 31(4): 422-427. [梁琼，张燕君，徐艳琴，等，2013. 箭叶淫羊藿居群形态及遗传多样性比较研究[J]. 植物科学学报，31(4): 422-427.]

LIU SX, LIU LJ, HUANG XF, et al., 2017. A taxonomic revision of three Chinese spurless species of genus *Epimedium* L. (Berberidaceae) [J]. PhytoKeys, 78: 23-36.

LIU SX, SHI HJ, XU YQ, 2016. Morphological comparison of the *Epimedium franchetii* Stearn species complex based on population observation and implications for taxonomy [J]. Plant Sci J, 34(3): 325-339. [刘少雄，石慧君，徐艳琴，2016. 基于居群观测的木鱼坪淫羊藿复合种形态比较和分类学启示[J]. 植物科学学报，34(3)：325-339.]

National Pharmacopoeia Commission, 2015. Pharmacopoeia of the People's Republic of China (Volume I) [S]. Beijing: China Medical Science Press：327. [国家药典委员会，2015. 中华人民共和国药典(一部)[S]. 北京：中国医药科技出版社：327.]

PROBST DR, 2017. Garden elegance [J]. Am Nurseryman, 187(5): 1-8.

REN L, DAI SL, WANG Y, 2008. The germplasm resources of *Epimedium* in China and its application in landscape architecture [J]. J Wuhan Bot Res, 26(6): 644-649. [任璘, 戴思兰, 王瑛, 2008. 淫羊藿属植物种质资源及园林应用[J]. 武汉植物学研究, 26(6)：644-649.]

STEARN WT, 1998. Four more Chinese species of *Epimedium* (Berberidaceae) [J]. Kew Bull, 53(1): 213-223.

STEARN WT, 2002. The genus *Epimedium* and other herbaceous Berberidaceae, including the genus *Podophyllum*. A botanical magazine monograph [M]. Oregon: Timber press: 26-351.

TANG Y, WU XX, DENG CL, et al., 2018. Preliminary observation on pollen morphology of Shagan (*Citrus nobilis*) [J]. Guihaia, 38(2): 250-259. [唐艳，武晓晓，邓崇岭，等，2018. 沙柑花粉形态观察研究[J]. 广西植物，38(2)：250-259.]

TANG YC, XIANG QY, 1989. A reclassification of the genus *Clematoclethra* (Actinidiaceae) and further note on the methodology of plant taxonomy [J]. Acta Phytotaxon Sin, 27(2): 81-95. [汤彦承，向秋云，1989. 重订藤山柳属的分类——续谈植物分类学工作方法[J]. 植物分类学报，27(2)：81-95.]

WANG KF, WANG XZ, 1983. Introduction to palynology[M]. Beijing: Beijing University Publishing House. [王开发，王宪曾，1983. 孢粉学概论[M]. 北京：北京大学出版社.]

WARD BJ, 2004. The plant hunter's garden: the new explorers and their discoveries [M]. Oregon: Timber press.

WANG YY, SUN QW, YANG W, et al., 2015. Pollen characteristics and taxonomic significance of Chinese *Epimedium* medicinal plant [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 35(7): 1367-1377. [王悦云，孙庆文，杨雯，等，2015. 中国淫羊藿属药用植物花粉特征及其分类学意义[J]. 西北植物学报，35(7)：1367-1377.]

XIONG XH, ZHOU XM, LI M, et al., 2019. Pollen morphology in *Rubus* (Rosaceae) and its taxonomic implications [J]. Plant Syst Evol, 305(8): 705-716.

XU CY, HOU YX, LI XH, et al., 2019. Pollen morphological variation of *Primula merrilliana* and its systematic significance [J]. Flora, 253: 43-48.

XU YQ, 2008. Determination of active constituents and population genetics of three medicinal *Epimedium* species [D]. Wuhan: Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences. [徐艳琴，2008. 三种药用淫羊藿的活性成分变异及居群遗传学分析[D]. 武汉：中国科学院武汉植物园.]

XU Y, SHI HJ, LIU SX, et al., 2015b. Quality evaluation of *Epimedium sagittatum* in different populations based on icariin contents [J]. Chin Trad Herb Drugs, 46(15): 2284-2290. [许瑛，石慧君，刘少雄，等，2015b. 不同居群箭叶淫羊藿基于淫羊藿多苷成分的质量评价[J]. 中草药，46(15)：2284-2290.]

XU Y, SHI HJ, LIU SX, et al., 2016. Variation of ABCI in *Epimedium myrianthum* Stearn based on eight wild populations [J]. Lishizhen Med Mat Med Res, 27(7): 1720-1723. [许瑛，石慧君，刘少雄，等，2016. 天平山淫羊藿不同居群基于淫羊藿多苷成分的质量评价[J]. 时珍国医国药，27(7)：1720-1723.]

XU Y, SHI HJ, XU QY, 2015a. ABCI chemical patterns of *Epimedium sagittatum* based on 16 wild populations: implication for utilization [J]. Lishizhen Med Mat Med Res, 26(8): 2002-2006. [许瑛，石慧君，徐艳琴，2015a. 箭叶淫羊藿不同居群淫羊藿多苷的变异研究及利用启示[J]. 时珍国医国药，26(8)：2002-2006.]

XU YQ, CAI WZ, HU SF, et al., 2013. Morphological variation of non-glandular hairs in cultivated *Epimedium sagittatum* (Berberidaceae) populations and implications for taxonomy [J]. Biodivers Sci, 2013, 21(2): 185-196. [徐艳琴，蔡婉珍，胡生福，等，2013. 箭叶淫羊藿同质园栽培居群非腺毛多样性及其分类学启示[J]. 生物多样性，21(2)：185-196.]

XU YQ, HUANG H, JIANG Y, et al., 2020. Taxonomic study of *Epimedium* L.: Status, issues and prospect [J]. Guihaia. DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201910051. [徐艳琴，黄华，蒋勇，等，2020. 淫羊藿属分类学研究：进展、问题与展望[J]. 广西植物. DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201910051]

XU YQ, LIU LJ, LIU SX, et al., 2019. The taxonomic relevance of flower colour for *Epimedium* (Berberidaceae), with morphological and nomenclatural notes for five species from China [J]. PhytoKeys, 118: 33-64.

XU YQ, LI ZZ, ZHANG XJ, et al., 2008. Geographic distribution and resource status of three important medicinal *Epimedium* species [J]. J Wuhan Bot Res, 26(1): 91-98. [徐艳琴，李作洲，张学军，等，2008. 三种药用淫羊藿的地理分布与资源调查[J]. 武汉植物研究，26(1)：91-98.]

XU YQ, XU Y, LIU Y, et al., 2014a. Progress and open problems in classical taxonomic research on *Epimedium* L. [J]. Chin Trad Herb Drugs, 45(4): 569-577. [徐艳琴，许瑛，刘勇，等，2014a. 淫羊藿属经典分类学研究进展及存在的问题[J]. 中草药，45(4)：569-577.]

XU YQ, XU Y, SHI HJ, et al., 2014b. Taxonomic research on *Epimedium sagittatum* species complex and discussion [J]. Chin Trad Herb Drugs, 45(22): 3343-3349. [徐艳琴，许瑛，石慧君，等，2014b. 箭叶淫羊藿复合体的分类问题及讨论[J]. 中草药，45(22)：3343-3349.]

YANG W, 2015. Study on the palynology of medicinal plants of *Epimedium* in China and evaluation of its quality [D]. Guiyang: Guizhou University of Traditional Chinese Medicine. [杨雯，2015. 中国淫羊藿属药用植物孢粉学及其药材品质评价研究[D]. 贵阳：贵阳中医学院.]

YING JS, 2002. Petal evolution and distribution patterns of *Epimedium* L. (Berberidaceae) [J]. Acta Phytotaxon Sin, 40(6): 481-489. [应俊生，2002. 淫羊藿属(小檗科)花瓣的演化和地理分布格局的研究[J]. 植物分类学报，40(6)：481-489.]

YU XS, LIU QH, 1991. A study on the pollen morphology of *Epimedium* in Hubei Province [J]. J Wuhan Bot Res, 9(3)：295-299. [余旭升，刘启宏，1991. 湖北淫羊藿属植物花粉形态研究[J]. 武汉植物学研究，9(3)：295-299.]

ZHANG M, XIA CY, FU LZ, et al., 2019. Pollen morphology of *Hydrangea* L. (Hydrangeaceae) and its related genera [J]. Guihaia, 39(3): 297-311. [张梅，夏常英，傅连中，等，2019. 绣球属(*Hydrangea* L.)及近缘属花粉形态的研究[J]. 广西植物，39(3)：297-311.]

ZHAO Y, CHEN S, WANG Y, et al., 2018. Effect of drying processes on prenylflavonoid content

and antioxidant activity of *Epimedium koreanum* Nakai [J]. J Food Drug Anal, 26(2): 706-806.